

Л.Є. ЗАХЛЄБІНА, інж., ХНУРЕ, Харків;

І.А. КАРАВАН, інж., ХНУРЕ, Харків;

І.Ш. НЕВЛЮДОВ, д-р техн. наук, проф., ХНУРЕ, Харків;

О.М. ЦИМБАЛ, канд. техн. наук, ХНУРЕ, Харків.

ЗАВДАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ЇХ ОПИС У РОБОТОТЕХНІЦІ

Розглянуто основні принципи побудови систем прийняття рішень, особливості інтелектуальних завдань, загальна постановка задачі прийняття рішень. Значну увагу приділено багатостадійним системам прийняття рішень як найбільш типовим для робототехніки. Сформульовано поняття адаптивних систем прийняття рішень, розглянуто формальне подання процесу прийняття рішень Система прийняття рішень, робототехніка, штучний інтелект.

Article deals with basic principles of decision-making system development. The specifics of intellectual tasks, the general task setting are considered. The actual attention is given to multi-stage systems of decision-making, as the most typical for robotics. The definition of adaptive decision-making systems is provided, the formal presentation of adaptive decision-making process is considered.
Decision-making system, robotics, artificial intelligence

Рассмотрены основные принципы построения систем принятия решений, особенности интеллектуальных задач, общая постановка задачи принятия решений. Значительное внимание уделено многостадийным системам принятия решений как наиболее типичным для робототехники. Сформулированы понятия адаптивных систем принятия решений, рассмотрено формальное представление процесса адаптивного принятия решений.
Система принятия решений, робототехника, искусственный интеллект.

Однією з основних проблем робототехніки є планування дій для вирішення завдань, поставлених перед роботом.

Інтелектуальні завдання передбачають необхідність свідомого пошуку відповідного засобу досягнення безпосередньо недосяжної мети [1].

Серед типів задач розрізняють:

- 1) задачі на знаходження;
- 2) задачі на доведення;

Задачі на знаходження полягають у пошуку невідомого раніше об'єкта, який мав би задовольняти умови, що пов'язують його з вихідними даними. При цьому під об'єктами розуміють різні категорії, наприклад геометричні задачі, завдання маніпулювання у робототехніці тощо.

Вирішення задач на доведення означає знайти підтвердження істинності (хибності) того, доказ чого впливає з початкових посилок (початкових даних).

Інтелектуальність задачі є поняттям відносним. М. Мінський з цього приводу писав: «Інтелектуальність можна визначити лише відносно ступеня нерозуміння задачі спостерігачем. Якщо теорема є зрозумілою до кінця, важко зберегти відчуття її «глибокості».

Інтелектуальність є властивою суб'єкта у тому випадку, якщо він здатен вирішувати задачі з апіорі невідомими схемами рішення.

Розрізняють [1, 2] такі класи задач:

1. Задачі, для яких існує формальна схема розв'язання, подані певною формальною мовою. Розв'язання здійснюється за наявною схемою (детермінованою або ймовірною). До цього класу належать математичні задачі (диференційні рівняння, екстремальні задачі). З точки зору М. Мінського визначення не є чисто інтелектуальними (звісно – до певного рівня) і можуть розглядатися як людиною, так і ЕОМ.

2. Задачі, для яких не існує раніше готової схеми розв'язання, мають залучати знання про предметну область. Людина сама формує схему розв'язання – саме в цьому полягає творча діяльність людини. До цього класу належать евристичні програми, основою для яких є аналіз конкретної діяльності людини.

Задачі, для яких схема розв'язання є апіорі невідомою, незважаючи на залучення знань про предметну галузь. Алгоритми пошуку реалізуються складними ієрархічними програмами, що імітують розумову діяльність людини. Саме до цього класу належать завдання планування поведінки, проектування та конструювання і саме цей клас відповідає «чисто інтелектуальним» завданням.

Метою запропонованої статті є розгляд особливостей прийняття рішень у інтелектуальних системах прийняття рішень.

1. Загальна постановка завдання прийняття рішень. Як указано у [2], завдання прийняття рішень (ЗПР) виникає, якщо є декілька варіантів дій (іншими словами – альтернатив) для досягнення заданого або бажаного результату. При цьому необхідно обрати найкращу у певному розумінні альтернативу.

Загальна постановка завдання формулюється [2, 3] у такий спосіб. Нехай X – множина альтернатив, Y – множина можливих наслідків (результатів). Припускається існування причинного зв'язку між вибором певної альтернативи $x_i \in X$ і настанням відповідного результату $y_i \in Y$. Крім того, припускається наявність механізму оцінювання якості такого вибору – зазвичай оцінюється якість результату. У деяких випадках доцільно припустити, що існує можливість безпосередньо оцінювати якість альтернативи x_i .

Схематично ЗПР характеризується рис. 1.

Аналіз сформульованого завдання полягає у таких головних зауваженнях:

1. Визначення характеру зв'язку альтернатив з результатами (може бути детермінованим). У такому випадку існує однозначне відображення:

$X \xrightarrow{\phi} Y$ тобто реалізується функція $y = \phi(x)$, $x \in X$, $y \in Y$ (рис. 2).

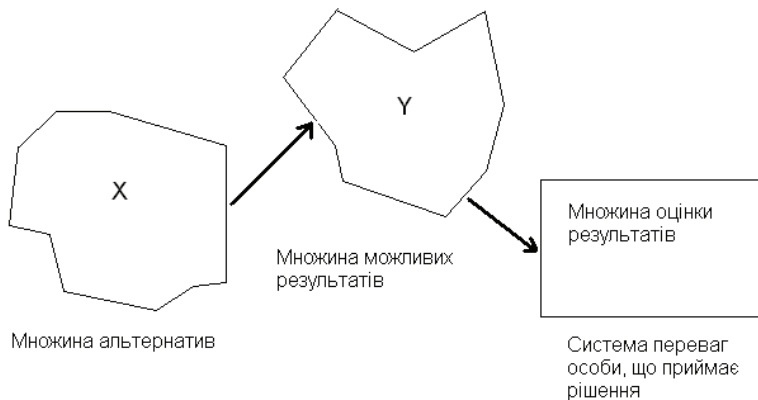


Рис. 1. Завдання прийняття рішень

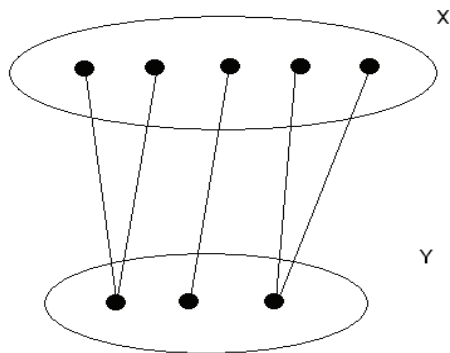


Рис. 2. Детермінований зв'язок

Зв'язок може мати ймовірнісний характер, при цьому вибір x визначає певну щільність розподілу ймовірностей на множині Y . У такому випадку вибір x_i вже не гарантує настання певного результату y_i . При цьому завдання прийняття рішення має назву ЗПР в умовах ризику (рис. 3).

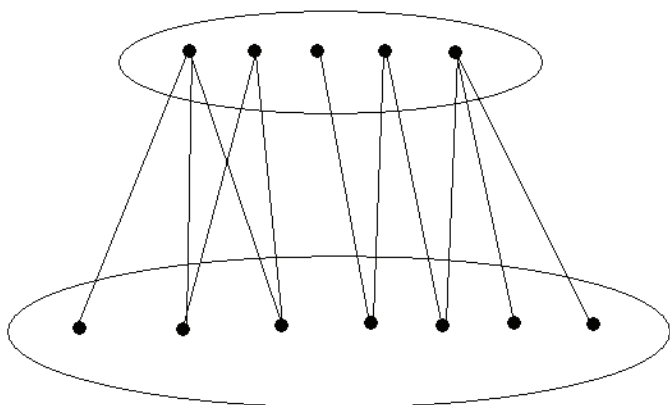


Рис. 3. Імовірнісний зв'язок

Графи, зображені на рис. 2 і 3, мають назву графів зв'язку альтернатив з результатами. Імовірнісний граф є «зваженим», у ньому кожен зв'язок характеризується вагою, тобто числом P_{ij} – імовірністю настання результату y_j для випадку вибору альтернативи x_i . Вочевидь

$$\forall i : \sum_j P_{ij} = 1.$$

Той же самий рисунок може ілюструвати третій вид альтернатив з результатами, що реалізується у завданнях ПР в умовах повної невизначеності. При цьому інформація імовірного характеру є відсутньою.

2. Наступний важливий момент загального завдання ПР полягає у дослідженні системи переваг особи, що приймає рішення (ОПР).

У такому розгляді проста ситуація виникає, коли кожен результат у можна оцінити конкретним дійсним значенням відповідно до певного заданого відображення

$$f : Y \rightarrow R.$$

У такому випадку порівняння результатів зводиться до порівняння відповідних їм значень, наприклад, результат y_i може вважатися кращим за y_j , якщо $f(y_i) > f(y_j)$. Результати є еквівалентними, якщо $f(y_i) = f(y_j)$. Для порівняння результатів використовуються вирази

$$y_i \prec y_j, y_i \sim y_j.$$

Така функція f називається цільовою або критеріальною функцією, функцією критерію оптимальності або просто критерієм оптимальності. Доволі часто такі функції також називають цільовими функціоналами [3].

Якщо припустити наявність детерміністського зв'язку між множиною альтернатив і множиною результатів: $y = \varphi(x)$, тоді функція f , задана на множині Y , трансформується у функцію J , задану на X , такою, що є суперпозицією φ і f :

$$J : X \rightarrow R, J = f \cdot \varphi.$$

У такому випадку задача вибору оптимального результату зводиться до задачі вибору оптимальної альтернативи на множині X і вирішується безпосередньо методами теорії оптимізації.

Більш реалістичною доволі часто є ситуація, коли на відміну від попереднього випадку «якість» або «корисність» результату у оцінюється не одним числом $f(y)$, а декількома. Інакше, припускається, що існує декілька показників якості рішення (критеріїв), що описуються функціями

$$f_k : Y \rightarrow R, k = 1, 2, \dots, m,$$

причому кожному з окремих цільових функцій f_i необхідно максимізувати. У випадку багатокритеріальних оцінювань результатів виникають значно більш складні математичні моделі ситуації вибору, ніж у однокритеріальному випадку. Критерії зазвичай є суперечними і, як правило, досягають максимуму у різних точках: $y \in Y$. При цьому виникають не тільки алгоритмічні, але й концептуальні труднощі: що розуміти під оптимальним рішенням у такому випадку?

Якщо обмежуватися вказаними трьома способами зв'язку альтернатив з результатами й двома способами опису переваг ОПР, виражених критеріальною мовою, можна [3] отримати таблицю основних задач вибору, показану на рис. 4, де $z=f(y)$, $f_k : Y \rightarrow R$; $Z=f(y)$, $f=f(f_1, \dots, f_m)$, $f_k, Y \rightarrow R, k = 1, 2, \dots, m$, знак « \sim » означає невизначеність у задачі ПР.

| Один критерій | Багато критеріїв | |
|---------------|------------------|-----------------|
| z | Z | Визначенність |
| \tilde{z} | \tilde{Z} | Невизначенність |

Рис. 4. Основні задачі вибору

2. Багатостадійні завдання прийняття рішень. Завдання прийняття рішень у робототехнічних системах мають характерну особливість, що

практично виявляється у багатостадійності, багатокроковості, а також у наявності багатьох цілей.

Для спрощення розгляду у більшості випадків розглядаються одноцільові завдання. Моделі багатостадійних завдань передбачають наявність певного графа – дерева рішень, що за змістом описує шлях з заданої множини початкових вершин у задану множину кінцевих вершин. З кожною вершиною графа асоціюється певний стан S_i , у якому знаходиться об'єкт прийняття рішень, а дуги, що виходять з вершини, відповідають можливим переходам з одного стану в інший залежно від прийнятих рішень. Додамо, що кожна з дуг матиме свою вагу, виражену у числовій формі, що позначатиме «вартість» переходу з одного стану в інший (рис. 5, а).

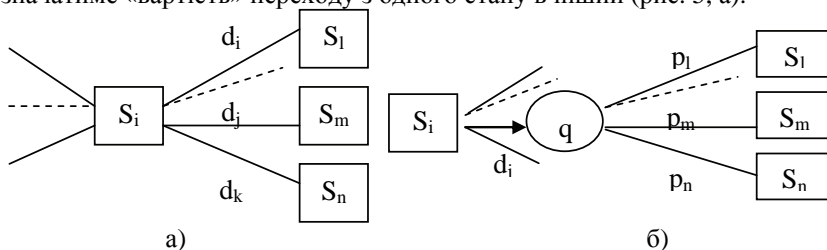


Рис. 5. Подання зв'язків вершин:

а – вершини-розв'язки, б – імовірнісні зв'язки вершин

Таким чином, основне завдання полягатиме в оптимальному виборі початкової вершини (із множини можливих) і шляху від неї у будь-яку з припустимих кінцевих вершин.

Вважається, що система (об'єкт прийняття рішень) знаходиться у певному фазовому стані S_i , кількість станів має бути скінченною. З вершини S_i виходить декілька вершин графа, що відповідають різним рішенням, які можуть бути прийняті у даному стані. Вибір певної альтернативи d_i призводитиме до переходу системи в нову вершину-«розв'язок». Більш складна ситуація виникає, коли вибір рішення не визначає новий стан системи, але задає певну ймовірнісну множину станів (рис. 5, б).

Фактично, за умови скінченної розмірності простору вибір вершини d_i означає вибір певної допоміжної вершини q_{ij} і подальшу потенціальну можливість переходу в один зі станів S_1, \dots, S_m, S_n відповідно до заданих ймовірностей p_1, \dots, p_m, p_n , де $\sum_{i=1, \dots, m, n} p_i = 1$ - так званий випадок імовірнісної невизначеності.

У [3] розглядається методологія розв'язання сформульованих багатоетапних завдань прийняття рішень.

Метод динамічного програмування (або метод Беллмана) ґрунтується на двох основних моментах:

- 1) завдання пошуку оптимального шляху розв'язується з кінця;

2) будь-яке початкове завдання має поглинатися множиною аналогічних завдань з різними початковими вершинами.

Ще одним підходом до розгляду багатостадійних завдань прийняття рішень є марківські моделі [5].

Якщо розглядати систему S зі скінченною кількістю станів s_j ($j=1, \dots, m$), слід враховувати її властивість до переходу у нові стани відповідно до певної матриці перехідних імовірностей:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix},$$

де p_{ij} – імовірність переходу системи від стану s_i у стан s_j . Сума елементів матриці має становити 1.

Процес поведінки системи називають марківським, якщо ймовірність переходу системи у будь-який можливий стан у кожний момент часу визначається лише її станом у попередній момент і не залежить від більш ранньої передісторії.

3. Адаптивне прийняття рішень і його особливості. Термін «адаптація» досить широко використовується у системах керування і відповідає ситуації, коли зовнішній об'єкт (або внутрішні чинники) впливає на стан системи керування. В умовах зовнішнього впливу система керування має забезпечити підтримку процесу керування в заданих межах.

За аналогією адаптивне прийняття рішень також має підтримувати процес прийняття рішень у належному стані під впливом зовнішніх (внутрішніх) факторів. Є, однак, і відмінності. На відміну від систем керування, у яких процес керування є здебільшого безперервним, процес адаптивного прийняття рішень є дискретним і в основному відповідає багатоступневим (багатостадійним) завданням.

Отож можна вказати на таку постановку завдання.

Нехай існує множина X_0 , що характеризує робототехнічну систему у момент t_0 , тобто $X_0 = \{x_0^0, x_0^1, \dots, x_0^n\}$ (вектор-стовпчик стану системи).

Процес прийняття рішень означатиме застосування до множини X_0 сукупності операцій рішень $D = \{D_0, D_1, \dots, D_n\}$ на кожному кроці.

У загальному випадку має місце декартовий добуток множин $X * D = Y$, де Y – множина, що характеризує стан робототехнічної системи у момент досягнення мети рішення.

З іншого боку, процес переходу робототехнічної системи із початкового її стану у цільовий є послідовністю перетворень векторів-стовпчиків станів системи:

$$\begin{bmatrix} x_0^0 \\ x_0^1 \\ \dots \\ x_0^{n0} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_1^1 \\ \dots \\ x_1^{n1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_2^0 \\ x_2^1 \\ \dots \\ x_2^{n2} \end{bmatrix} \Rightarrow \dots \Rightarrow \begin{bmatrix} x_n^0 \\ x_n^1 \\ \dots \\ x_n^{nn} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} y^0 \\ y^1 \\ \dots \\ y^n \end{bmatrix}.$$

Проте вказана послідовність змін може характеризувати не тільки процес прийняття рішень, а й динаміку змін станів системи у часі.

Під час прийняття рішень стан системи змінюється в активному режимі, тобто на кожному кроці прийняття рішення мають змінюватися характеристики системи. Якщо розглядати послідовність дій (у загальному вигляді) стосовно прийняття рішень, необхідно визначати вказану функцію (вектор) прийняття рішень:

$$\begin{bmatrix} x_0^0 \\ x_0^1 \\ \dots \\ x_0^{n0} \end{bmatrix} * D_0 \Rightarrow \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_1^1 \\ \dots \\ x_1^{n1} \end{bmatrix} * D_1 \Rightarrow \begin{bmatrix} x_2^0 \\ x_2^1 \\ \dots \\ x_2^{n2} \end{bmatrix} * D_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow \begin{bmatrix} x_{n-1}^0 \\ x_{n-1}^1 \\ \dots \\ x_{n-1}^{n-1} \end{bmatrix} * D_{n-1} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_n^0 \\ x_n^1 \\ \dots \\ x_n^{nn} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} y^0 \\ y^1 \\ \dots \\ y^n \end{bmatrix}.$$

У випадку адаптивного прийняття рішень необхідно враховувати наявність третьої сторони, наприклад, у вигляді об'єктів зовнішнього світу або сторони-конкурента, яка має вплив (негативний або позитивний) на процес прийняття рішень. З одного боку, вплив зовнішнього середовища має відчуватися системою безпосередньо, і тоді для урахування його існування і впливу на процес прийняття рішень необхідно вносити додатковий множник S , що характеризуватиме стан зовнішнього середовища (яке складається з певної множини об'єктів $S_i = \{s_i^0, s_i^1, \dots, s_i^m\}$, де індекс i означає наявність дискретного стану зовнішнього середовища):

$$\begin{bmatrix} x_0^0 \\ x_0^1 \\ \dots \\ x_0^{n0} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_0^0 \\ s_0^1 \\ \dots \\ s_0^{m0} \end{bmatrix} * D_0 \Rightarrow \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_1^1 \\ \dots \\ x_1^{n1} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_1^0 \\ s_1^1 \\ \dots \\ s_1^{m1} \end{bmatrix} * D_1 \Rightarrow \dots \Rightarrow \begin{bmatrix} x_{n-1}^0 \\ x_{n-1}^1 \\ \dots \\ x_{n-1}^{n-1} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} s_{n-1}^0 \\ s_{n-1}^1 \\ \dots \\ s_{n-1}^{m-1} \end{bmatrix} * D_{n-1} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_n^0 \\ x_n^1 \\ \dots \\ x_n^{nn} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} y^0 \\ y^1 \\ \dots \\ y^n \end{bmatrix}.$$

Іншим підходом є введення функціональної залежності окремих актів прийняття рішення від станів середовища:

$$\begin{bmatrix} x_0^0 \\ x_0^1 \\ \dots \\ x_0^{n0} \end{bmatrix} * D_0 \left(\begin{bmatrix} s_0^0 \\ s_0^1 \\ \dots \\ s_0^{m0} \end{bmatrix} \right) \Rightarrow \begin{bmatrix} x_1^0 \\ x_1^1 \\ \dots \\ x_1^{n1} \end{bmatrix} * D_1 \left(\begin{bmatrix} s_1^0 \\ s_1^1 \\ \dots \\ s_1^{m1} \end{bmatrix} \right) \Rightarrow \dots \Rightarrow \begin{bmatrix} x_{n-1}^0 \\ x_{n-1}^1 \\ \dots \\ x_{n-1}^{n-1} \end{bmatrix} * D_{n-1} \left(\begin{bmatrix} s_{n-1}^0 \\ s_{n-1}^1 \\ \dots \\ s_{n-1}^{m-1} \end{bmatrix} \right) \Rightarrow \begin{bmatrix} x_n^0 \\ x_n^1 \\ \dots \\ x_n^{nn} \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} y^0 \\ y^1 \\ \dots \\ y^n \end{bmatrix}$$

Зовні два підходи відрізняються не досить виразно, але тлумачення обох може здаватися різним. У першому випадку система взаємодіє з середовищем безпосередньо, тобто взаємодія призводить до змін у станах робототехнічної

системи. Таким чином, акт прийняття рішення стосується стану системи, що зазнав впливу середовища.

В другому випадку акт прийняття рішення залежить від стану навколишнього середовища, тобто має враховувати його вплив. Можна сказати, що вирішувач, перетворює стан робототехнічної системи, будучи «середовищезалежним».

В принципі, напевно, той чи інший варіант розгляду відрізнятиметься за послідовністю виконання. Якщо взаємодія робототехнічної системи і зовнішнього середовища відбувається перед актом прийняття рішень, слід вести мову про першу формулу (1), якщо ж взаємодія відбувається під час самого акту, слід брати до уваги залежність функції прийняття рішень від впливу зовнішніх факторів і, відповідно, розглядати (2). Хоча, без сумніву, за своїм результатом обидва варіанти мають бути однаковими.

Наступним кроком має бути детальний розгляд взаємодії описаних елементів і одночасно самого процесу прийняття рішень.

Головними проблемами під час прийняття рішень у робототехнічній системі є:

- 1) аналіз досяжності мети за наявних умов ОПР і середовища;
- 2) наявність альтернативних шляхів досягнення цілей;
- 3) вплив зовнішніх чинників і необхідність їх урахування за допомогою механізмів адаптивного прийняття рішень.

Досяжність загальної мети системи прийняття рішень визначається досяжністю усіх підцілей, що послідовно приводять до переходу у цільовий стан. У свою чергу кожна мета (підціль) є певним станом робототехнічної системи.

Таким чином, досяжність мети та будь-якої підцілі визначається наявністю причинно-наслідкових ланцюжків в еволюції стану робототехнічної системи.

Список літератури: 1. Ефимов Е.И. Решатели интеллектуальных задач. – М.: Наука, 1982. – 320 с. 2. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с. 3. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребеннік І.В. Методи и засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах. – К.: Техніка, 2004. – 256 с. 4. Бондаренко М.Ф., Гвоздинський А.М. Оптимізаційні задачі в системах прийняття рішень. – Х.: ХТУРЕ, 1998. – 216 с. 5. S. Thrun, W. Burgard, D. Fox. Probabilistic Robotics. The MIT Press, 2005.

Поступила в редколлегию 08.07.11